PART3 遠地地震の走時曲線

目標　遠地地震の走時曲線から読み取れることがらについて説明できる。

Chapter1　地震波の性質と遠地地震の走時曲線

近地地震の走時曲線からは，地殻とマントルの境界面の深さを推定することができました。それでは，遠地地震の走時曲線からは，どのようなことが推定できるのでしょうか。

地震波の性質

・P 波と S 波

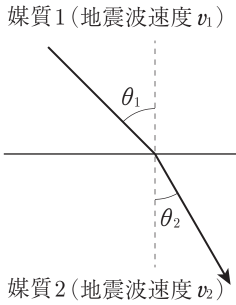
	P 波	S 波
波の分類	縦波〔疎密（そみつ）波〕	横波〔剪断（せんだん）波〕
振動方向	進行方向と平行	進行方向と垂直
固体	伝わる	伝わる
液体	（伝わる ／ 伝わらない）	（伝わる ／ 伝わらない）

復習

P 波と S 波（地学基礎）
P 波と S 波は震源で同時に発生し，岩石中を伝わる速度は P 波の方が大きい。
P 波が引き起こす最初のゆれを初期微動，その後に S 波が到達して生じるゆれを主要動という。

・**屈折の法則【物理】**

地震波は，媒質〔伝わる物質〕によって伝わる速度が異なる。伝わる速度が v_1 である媒質 1 から伝わる速度が v_2 である媒質 2 に入るとき，入射角 θ_1 と屈折角 θ_2 には次の関係がある。



$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

→地震波が

地球の中心に向かうように屈折する……（$v_1>v_2$ ／ $v_1<v_2$）

境界面に近づくように屈折する…………（$v_1>v_2$ ／ $v_1<v_2$）

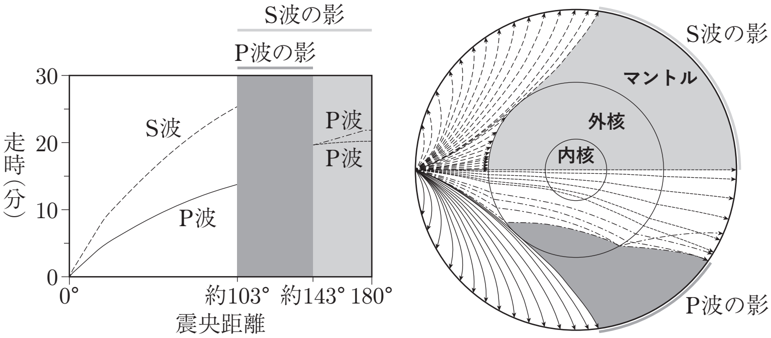
遠地地震の走時曲線

・角距離

遠地地震では，震央距離を地球の中心から見た角度で表す。この角度を角距離という。

・走時曲線と地球の内部構造

震央距離約 103° を境として，P 波と S 波の伝わらない震央距離の範囲が存在する。地震波の伝わらない範囲を**影の領域**〔P 波の影，S 波の影〕と呼ぶ。



走時曲線をもとに地震波の伝わり方を推定したものが右図である。

→たとえば，次のようなことが考えられる。

・P 波の影があることから，マントルと外核との境界では P 波が地球の中心に向かって屈折している，つまり，マントルとくらべて外核の方が P 波の速度が（大きい / 小さい）と推定される。

・S 波の影が震央距離 180° まで続いていることから，外核は S 波の伝わらない状態，つまり液体だと推定できる。

まとめ

・遠地の走時曲線には，P 波や S 波が伝わらない震央距離の範囲が存在する。このような範囲を影の領域という。

・P 波と S 波のうち，_____の影は震央距離約 103° から 180° まで続いている。よって，地球の_______は，_____の伝わらない_______の状態だと推定される。

知っておこう

遠地地震は震源の遠い（数千 km の）地震です。震源が遠くなると「地球がまるい」ということを無視できず，近地地震を扱ったときのように地震波が地表と平行に伝わると考えることはできなくなります。そのため，遠地地震の震央距離を地表で測った距離によって表すことにはあまり意味がなく，その代わりに角距離が用いられるのです。

知っておこう

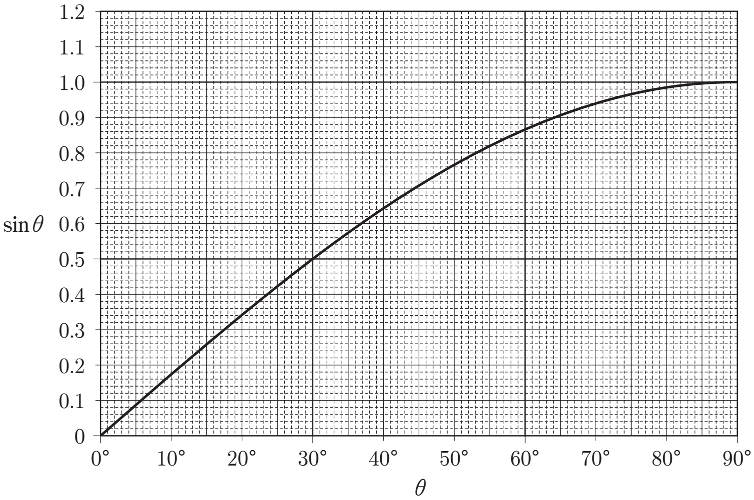
1936 年，デンマークのレーマン (Inge Lehmann) は，「地球には外核よりも地震波速度の大きな内核が存在する」という仮説を提唱しました。これは，「P 波の影」でも検出される弱い P 波に関する彼女自身の研究がもとになっています。

その後，内核が固体であるという仮説が別の研究者によって提出され，1971 年になって検証されました。

地学基礎でも学んだ「地球には内核があり，固体である」ということが明らかになるまでには，数十年にわたる研究の歴史があったのです。

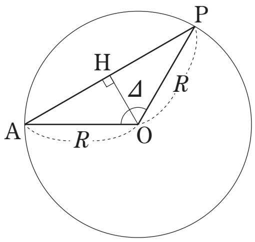
Chapter2　演習問題

ここでは，簡略化したモデルを用いて，地球の内部構造について考えてみましょう。必要であれば，三角比の値を表す次の図を用いてください。



問題(1)　半径 R の地球の地表付近を震源とする地震について，震央距離〔角距離〕が $\varDelta$ の地点に観測点があるとします。このとき，下の文章中の空欄［　**ア**　］・［　**イ**　］に入る線分と，空欄［　**ウ**　］に入る R，$\varDelta$ を用いた式を答えましょう。

地球の中心を O，震源を A，観測点を P として，O から AP に下ろした垂線と AP との交点を H とする。このとき，



$$\mathrm{AH}=\mathrm{PH},\ \angle\mathrm{AOH}=\angle\mathrm{POH}$$

が成り立つ。また，直角三角形 OAH について考えて，

$$\sin\angle\mathrm{AOH}=\frac{[\quad\text{ア}\quad]}{[\quad\text{イ}\quad]}$$

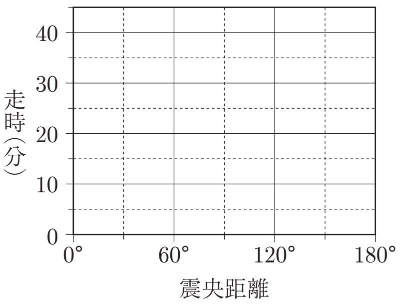
である。$\mathrm{OA}=R$，$\angle\mathrm{AOP}=\varDelta$ であることを用いると，

$$\mathrm{AP}=2\mathrm{AH}$$
$$=[\quad\text{ウ}\quad]$$

である。

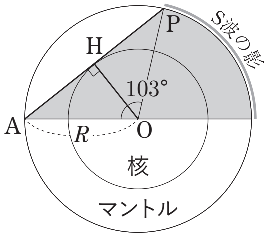
問題⑵　地球の半径を 6400km とし，地球内部の S 波速度は 5.0km/s で一定だと仮定します。このとき，次の表の空欄に当てはまる数値を求め，S 波の走時曲線を描いてください。ただし，走時は小数第 1 位を四捨五入して，整数で答えましょう。

震央距離Δ	走時〔分〕
0°	
60°	
120°	
180°	



ここがPOINT
計算問題では単位に注意しましょう！

問題⑶　地球の半径を 6400km とし，マントル内の S 波速度は一定だと仮定します。S 波の影が震央距離 103° ～ 180° だとすると，地球の核の半径は何 km でしょうか。次の図を参考にして計算し，上から 2 桁の概数で答えましょう。



ここがPOINT
マントル内の S 波速度が一定であれば，S 波はマントル内を直進します！

問題⑷　**問題⑶**で求めた核の半径について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選んでください。

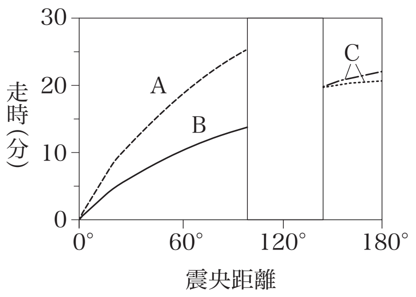
地球の核の半径は約 3500km であり，**問題⑶**で求めた半径は（大きすぎる / 小さすぎる）。このような違いが生じたのは，マントル内の S 波速度が深さとともに（大きく / 小さく）なり，S 波が曲がって伝わることを考えなかったからである。

知っておこう
問題⑵で描いた走時曲線のうち震央距離 0° ～ 103° の部分は，Chapter1 で扱った実際の走時曲線よりも直線に近い形になっています。これも，マントル内の S 波速度が深さによって異なることを考えなかったために生じた違いです。

第1講　PART3　確認問題

次の文章を読み，下の問いに答えよ。

問1　下図は地球全体で作成した走時曲線である。このグラフは震央距離が約 103°のところから地震波が全く伝わらない領域が存在し，約 143°のところから再び地震波が観測されている。このようなグラフになるのは a P 波，S 波の物理的な波の種類や性質によって伝わり方が変化するからであり，これらのことから b 地球の内部構造や物理的性質について知ることができる。



(1)　図中の A ～ C の地震波のうち P 波はどれか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　A　　②　B
③　A と C　　④　B と C

(2)　下線部 a について，P 波の種類と性質として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　縦波であり，液体中でも伝わる。
②　縦波であり，液体中では伝わらない。
③　横波であり，液体中でも伝わる。
④　横波であり，液体中では伝わらない。

⑶　下線部 b について，図のように走時曲線 A，B が震央距離約 103° で途切れていることから推定できる地球内部の構造として最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　地球の中心部には液体の層（外核）が存在している。

②　地球の表層部には岩石の種類の異なる層（地殻）が存在している。

③　地球の中心部は 2 層構造（内核と外核）となっている。

④　地球には厚い岩石の層（マントル）が存在している。

第 1 講　地震波と地球の内部構造

PART1　近地地震の走時曲線

問題(1)　ア：80 km　イ：64 km　ウ：4.5 s　エ：144 km

問題(2)　2 倍，2 倍，2 倍，傾き，2 倍，比例する

PART2　アイソスタシー

問題(1)　ア：Sd_1　イ：$\rho_1 Sd_1$　ウ：$\rho_3 Sh_1$

エ：$S(\rho_1 d_1 + \rho_3 h_1)$　オ：$S\{\rho_2 d_2 + \rho_3 (h_1 + h_2)\}$

カ：$\rho_2 d_2 + \rho_3 h_2$

問題(2)　20 km，h_2 の方が大きい

PART3　遠地地震の走時曲線

問題(1)　ア：AH　イ：OA　ウ：$2R \sin\dfrac{\Delta}{2}$

問題(2)　0，21，37，43　【※図参照】

問題(3)　4000 km

問題(4)　大きすぎる，大きく

PART4　地球内部を構成する物質

問題(1)　ア：$\dfrac{4}{3}\pi R_0^3$　イ：$\dfrac{4}{3}\pi R_1^3$　ウ：$\left(\dfrac{R_1}{R_0}\right)^3$

エ：$\rho_0 V_0$　オ：$\rho_1 V_1$　カ：$\dfrac{\rho_1 V_1}{\rho_0 V_0}$　キ：$\dfrac{\rho_1}{\rho_0}\left(\dfrac{R_1}{R_0}\right)^3$

問題(2)　ク：0.33　ケ：84

第 1 講　PART3　確認問題　解答

問 1

(1)　④

解説：
S 波は液体中を伝わらないため，約 103° 以遠のところには伝わらないが，P 波はマントルと核の境界で屈折するだけなので，再び約 143° 以遠のところにあらわれる。

(2)　①

解説：
縦波（疎密波）は波の進行方向と振動方向が平行で，液体中でも伝わる。一方，横波（剪断波）は波の進行方向と振動方向が垂直で，液体中は伝わらない。

(3)　①

解説：
S 波が約 103° 以遠のところに伝わらないため，液体の層があることが推定される。